双壳贝类营养需求及人工饵料的研究进展

杨创业[1,2] 杜晓东[1,2] 王庆恒[1,2*] 邓岳文[1,2]

(1.广东海洋大学水产学院，湛江 524088；2.广东省珍珠养殖与加工工程技术研究中心，湛江 524088）

摘 要：工厂化养殖是未来贝类产业可持续发展的必然趋势。由于微藻的培养容易受到气温、光照等自然环境条件的影响，而且占用大量水体，因此研发双壳贝类人工饵料已成为贝类工厂化养殖的关键因素。本文简述了蛋白质、脂类和碳水化合物对双壳贝类生长、繁殖及免疫的影响，详细叙述了微藻干粉、大型海藻处理物、酵母、微粒饲料、液态微胶囊饲料和固态微胶囊饲料 6 种人工饵料的研究进展，以期为研发新型的双壳贝类人工饵料及开展工厂化养殖提供依据。

关键词：双壳贝类；营养需求；人工饵料

中图分类号：S963 文献标识码：A 文章编号：

双壳贝类是滤食性贝类，属于被动摄食类型，主要利用鳃丝和鳃丝上的纤毛运动来滤食环境中的单胞藻类、细菌、有机碎屑和小型浮游动物[1-2]。人工育苗或工厂化养殖过程中，双壳贝类主要摄食人工培养的单胞藻类，但是单胞藻类的培养容易受到气温、光照等因素影响，而且在培养过程中需要占用大量水体（育苗水体与藻类培养水体大致为 1:3）。

近年来，海产双壳贝类的养殖环境不断恶化，台风暴雨等自然灾害频发，造成产量不断下降。工厂化养殖可以有效避免一些负面因素的影响，为贝体的生长提供一个稳定的生活环境，实现水体理化条件的可控性，显著提高贝类产量。为了解决贝类工厂化养殖过程中单胞藻饵料的不足，科研工作者开始研究代用饵料或人工配合饲料以代替单胞藻饵料。本文根据以往文献，着重分析探讨蛋白质、脂类和碳水化合物对双壳贝类生长、繁殖及免疫的影响及

收稿日期：2016-05-03

基金项目：广东省科技厅“珍珠贝微胶囊饲料开发与工厂化育珠模式研究”(2014A020208122)；国家贝类产业体系湛江综合试验站(CARS-48)

作者简介：杨创业(1990−)，男，河南漯河人，硕士研究生，从事海水珍珠培育研究。E-mail: 826205797@qq.com

*通信作者：王庆恒，副教授，硕士生导师，E-mail: wangqingheng@163.com

其人工饵料的研究现状，以期为研发新型的双壳贝类人工饵料提供依据，进而为工厂化养殖提供参考依据。

1 双壳贝类营养物质需求研究进展

营养物质是双壳贝类生长的基本物质条件。目前，有关双壳贝类营养物质需求的研究在维生素、无机盐等方面还鲜有报道，主要集中在蛋白质、脂类和碳水化合物三大方面。

1.1 蛋白质

饵料的蛋白质是影响水产动物生长的主要营养物质之一，如果饵料中蛋白质含量过低会严重影响水产动物的摄食和生长[3]。有研究表明花蛤(*Tapes japonica*)稚贝的干重、壳重和蛋白质含量与饵料藻类的蛋白质含量有关[4]；牡蛎(*Crassostrea corteziensis*)幼虫的营养值与饵料藻类的蛋白质总量有关[5]；饵料的蛋白质含量影响长牡蛎(*Crassostrea gigas*)幼虫的变态[6]。自然环境条件下，双壳贝类摄食的单胞藻等饵料含有 15%~40%的蛋白质[7]，饵料中的蛋白质含量对贝类生长影响较大。但是，Flaak 等[8]研究表明，假微型海链藻(*Thalassiosira pseudonana*)的蛋白质含量在蓝光、冷白光、农业光条件下依次降低；生长静止期的蛋白质含量大于指数生长期；利用不同光照与生长期培养的饵料投喂美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)稚贝的生长速度存在明显差异，其中冷白光+生长静止期的假微型海链藻投喂的稚贝具有最大的干重和壳高生长率，并且其体内含有最高的糖原含量。因此，他们认为影响贝类生长的主要营养物质是碳水化合物而不是蛋白质。Burle 等[9]比较了高蛋白质含量的鳟鱼粉和单胞藻投喂海湾扇贝(*Argopecten irradians*)的差别，结果表明摄食鳟鱼粉的海湾扇贝生长明显小于摄食单胞藻的个体，同时他们认为双壳贝类属于被动摄食，能够滤食环境中的有机颗粒。Camacho 等[10]比较了 2 种饲料条件下蛤仔(*Ruditapes decussatus*)稚贝的生长和生化成分的差别，这 2 种饲料分别是玉米淀粉(99%为碳水化合物)和玉米粉(90%为碳水化合物，10%为蛋白质)，得出了蛤仔稚贝蛋白质最低需求量是 22%。综上，饵料（或饲料）中的蛋白质是影响双壳贝类生长的主要成分，不同种贝类对蛋白质的需求量存在明显差别，甚至同一种贝类在不同生长阶段对蛋白质的需求量也有差异。

1.2 脂类

现有研究资料表明，脂类中的不饱和脂肪酸是影响贝体生长的主要营养物质之一。García-Esquivel 等[6]研究发现长牡蛎在变态附着 1 个月内主要以脂肪作为能源物质。

Langdon 等[11]发现长牡蛎的生长和饵料藻类的总脂质含量无关，但饵料中的二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid,DHA)等不饱和脂肪酸可以明显促进长牡蛎的生长。Thompson 等[12]发现生长在强光下的假微型海链藻的碳水化合物、豆蔻酸、棕榈酸和 DHA 含量较高，而蛋白质、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid,EPA)的含量较低，分别将在强光下和弱光下生长的假微型海链藻投喂长牡蛎幼虫，发现前者的生长最为迅速，因此他们认为碳水化合物、豆蔻酸、棕榈酸和 DHA 对长牡蛎幼虫的生长更为重要。Knauer 等[13]发现长牡蛎的无灰分干重与饵料中的 DHA 和 EPA 的含量呈正相关，证实了脂肪酸对于长牡蛎生长的重要性。Numaguchi[14]利用明胶阿拉伯胶微胶囊化鳕鱼油，投喂马氏珠母贝(*Pinctada fucata martensii*)稚贝，证实不饱和脂肪酸对于马氏珠母贝的生长是必需的。Séguineau 等[15]比较了 2 种饵料投喂长牡蛎的效果，这 2 种饵料分别是花生四烯酸(arachidonic acid,ARA)强化的微藻和 ARA+微藻，结果表明 ARA+微藻投喂效果较好。ARA 对于扇贝(*Placopecten magellanicus*)幼虫后期的生长很重要[16]。Batista 等[17]研究了 EPA、DHA 和 ARA 对欧洲鸟尾蛤(*Cerastoderma edule*)生长、存活及脂肪酸组成的影响，发现 DHA 和 EPA 共同影响着欧洲鸟尾蛤的生长，较低含量的 ARA 并不限制贝体的生长，而且不同脂肪酸组成的饵料也影响着贝体中性和极性脂肪中脂肪酸的含量。Rivero-Rodríguez 等[18]的研究发现牡蛎的生长与 ARA 含量存在明显相关性，但是有研究表明 ARA 影响牡蛎的性成熟、免疫力，而与生长没有明显的关系[19]。此外，Delaporte 等[20]比较了 10%和 50%的 EPA 乳制剂对长牡蛎生化成分和血细胞功能的影响，结果表明 50%的 EPA 乳制剂可以促进长牡蛎性腺发育成熟，这 2 种制剂均可影响血细胞功能。因此，脂肪酸是影响双壳贝类生长、繁殖和免疫的重要营养物质，不同贝类对脂类营养物质需求量存在明显差异。

1.3 碳水化合物

自然环境条件下，单胞藻饵料的碳水化合物主要为淀粉和纤维素，其含量约占干重的 5%~12%[7]。Enright 等[21]比较了 3 种不同生化组分的微藻对欧洲牡蛎(*Ostrea edulis*)的养殖效果，发现碳水化合物含量高的微藻有利于欧洲牡蛎的生长。Camacho 等[10]在比较 2 种饲料（玉米淀粉，99%为碳水化合物；玉米粉，90%碳水化合物+10%蛋白质）对蛤仔稚贝生长和生化成分的影响时也发现类似的结果。Urban 等[22]研究了非生物饵料对美洲牡蛎生长的影响，发现添加适量的大米淀粉和高岭土到酵母饲料中可以减少微藻的使用。Thompson 等[12]

也发现碳水化合物比蛋白质对长牡蛎幼虫的生长更为重要。综上，碳水化合物是影响贝体生长的主要营养物质之一。

2 双壳贝类人工饵料研究进展

双壳贝类的生物饵料的培养周期长，并且需要大量人力、物力，尤其是在培养过程中，因气候、环境条件的变化或有害生物侵袭等原因，常造成生物饵料缺乏。因此，研究人员开发了双壳类适宜的人工饵料，有利于节省生产成本，从而提高经济效益。目前，有关双壳贝类的的人工饵料主要分为两大类：1)微藻干粉、大型海藻处理物和酵母，这些能作为单胞藻活饵料替代物；2)微粒饲料、液态微胶囊饲料和固态微胶囊饲料。

2.1 微藻干粉

Coutteau 等[23]研究证实了微藻干粉对长牡蛎和菲律宾蛤蜊(*Tapes philippinarum*)稚贝的生长具有一定的效果，但是不同种类的微藻干粉对贝类的生长具有明显的差异。Albentosa 等[24]研究发现冷冻干燥的微藻不如活体饵料，添加抗生素和高岭土投喂后蛤仔稚贝的生长率也没有提高，但添加少量的活藻则明显提高生长率，但是生长率依然较投喂活体微藻时低。其可能原因是，冷冻干燥过程中微藻部分营养成分损失，从而影响贝类的摄食效果。Arney 等[25]利用喷雾干燥的螺旋藻和裂殖壶菌养殖象拔蚌(*Panopea generosa*)后发现养殖效果均不如投喂活体微藻的对照组，这可能是因为象拔蚌对喷雾干燥后的螺旋藻和裂殖壶菌的消化效果有限。因此，微藻干粉不能完全替代活体微藻，但是可以在生产过程中替代部分活藻。

2.2 大型海藻处理物

在贝类生产过程中，可以使用大型海藻人工饲料替代部分单胞藻饵料，目前比较常见的大型海藻人工饲料包括大型海藻干粉、大型海藻研磨液、单细胞碎屑（利用微生物制剂降解海藻的产物）和酶解单细胞。García-Esquivel 等[26]比较了投喂海带粉与等鞭金藻对象拔蚌性成熟和生长性状的影响，结果表明海带粉+金藻组个体性成熟率与金藻组没有显著差异，但是海带粉+金藻组的个体性腺重量低于金藻组。王如才等[27]和于瑞海等[28]用海藻磨碎液饲育海湾扇贝亲贝后的效果与活体微藻差异不显著。殷旭旺等[29]利用孔石莼研磨液与微绿球藻混合投喂栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)和虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)，结果表明该饵料混合液可以提高这 2 种扇贝的增长率和性腺发育，暂养期间可以作为替代饵料进行投喂。Tanyaros 等[30]使用坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)单细胞碎屑喂食 *Crassostrea belcheri*，结果发

现 50%的坛紫菜单细胞碎屑可以替代部分单胞藻饵料。王莹等[31]利用海螺酶酶解紫菜为单细胞饵料，投喂扇贝亲贝进行性腺促熟，发现促熟的亲本可以产生配子，并且受精卵可以发育至 D 型幼虫。Dai 等[32]使用紫菜、裙带菜和海带的酶解单细胞液投喂魁蚶(*Arca inflate*)和海湾扇贝(*Argopecten irradias*)进行亲本促熟，发现魁蚶和海湾扇贝的亲贝均可以正常排放受精卵，受精卵发育正常，幼体生长至变态。Pérez 等[33]使用 2 种酶（内切葡聚糖酶与纤维素酶）和 2 种细菌(CECT-5255 与 CECT-5256)将海带(*Laminaria saccharina*)裂解成小于 20 μm 的悬浮液（游离细胞、细菌和海带碎屑）后，比较投喂悬浮液与球等鞭金藻对蛤仔生长的影响，结果发现投喂悬浮液组的蛤仔生长率为单独投喂球等鞭金藻组的 40%，投喂 90%悬浮液+10%球等鞭金藻组的蛤仔生长率与单独投喂球等鞭金藻组差异不显著。因此，大型海藻处理物可以替代部分活体微藻，尤其是大型海藻酶解单细胞，具有很大潜力。

2.3 酵母

Urban 等[22]研究了饵料对美洲牡蛎生长的影响，发现酵母不是理想的微藻替代品，而使用酵母时添加适量的大米淀粉和高岭土可以降低微藻的使用量。但是 Coutteau 等[23]研究了酵母对长牡蛎和蛤仔稚贝的饲喂效果，发现在循环系统中酵母替代 80%的微藻喂食蛤仔和和牡蛎 3 周后，生长率分别可以达到微藻组的 30%~40%、70%~80%。李雷斌等[34]研究了投喂自溶酵母对马氏珠母贝 D 型幼虫生长的影响，结果发现单独投喂自溶酵母的幼虫成活率与单独投喂金藻没有显著差异，但在壳顶期和稚贝期单独投喂自溶酵母影响了幼虫和稚贝的正常发育和成活率。由此可见，在贝类生长过程中可利用酵母替代部分活体微藻。

2.4 微粒饲料

微粒饲料由将不同来源的原料粉碎混合加工而成，这种饲料明显的缺陷是养殖水体容易受到污染。Camacho 等[10]比较了 2 种饲料对蛤仔稚贝生长和生化成分的影响，这 2 种饲料分别为玉米淀粉和玉米粉，其中玉米淀粉碳水化合物含量为 99%，玉米粉的碳水化合物与蛋白质含量分别为 90%和 10%，结果发现投喂 50%玉米淀粉+50%微藻组的蛤仔增重率为投喂微藻组的 87.9%。Albentosa 等[35]研究发现投喂 50%小麦胚芽粉与 100%微藻组的蛤仔的生长率没有显著差异，但是小麦胚芽粉组的个体有机物含量显著下降，蛋白质和脂肪含量降低，碳水化合物含量升高。罗振鸿等[36]研究了渔宝Ⅰ号（主要成分为复合消化酶、仿生破壁蜂花粉、高聚磷酸维生素 C）对大珠母贝室内人工育苗的影响，结果发现渔宝Ⅰ号能显著提高

幼体的生长率。童圣英等[37]研制了 5 种微粒配合饲料，饲料原料成分为石莼、海带、礁膜、鼠尾藻、动物蛋白质、植物蛋白质、维生素、矿物质等，测试了这 5 种饲料投喂海湾扇贝及其幼体的效果，结果表明亲本能发育至成熟，幼体能正常生长、变态。因此，在双壳贝类养殖过程中利用微粒饲料替代部分活体微藻是可行的。

2.5 液态微胶囊饲料

20 世纪 80 年代后开始有文献报道液态微胶囊饲料对双壳贝类幼体生长与成活率的影响[14,38-40]。液态微胶囊饲料的制作过程参见 Numaguchi[14]，简要概括为：将芯材(鱼油)与壁材（明胶溶液等）混合后，用均质机使其均质化形成乳液，将乳液用超声波处理并调节 pH 后倒入预冷蒸馏水混合，低温静置或低速离心后，取上层油状溶液备用。已有研究表明双壳贝类可以摄食、消化这种流质的微胶囊饲料或营养添加剂[38-40]。Chu 等[38]报道微胶囊饲料养殖的美洲牡蛎幼体可以部分发育至变态期，但仅有 5%~25%的胚胎可以发育至眼点幼虫，2%~20%的眼点幼虫发育至面盘幼虫。Numaguchi 等[14,39]先后报道了仅含鱼油的明胶-阿拉伯胶微胶囊不能满足悉尼岩牡蛎(*Saccostrea commercialis*)和马氏珠母贝幼体发育的需要，但可以作为微藻饵料的补充，适当添加明胶-阿拉伯胶微胶囊可提高幼体的生长速度。Southgate 等[40]以鸡蛋、卵清蛋白、鱼卵、鱼油混合物为芯材制作复合营养型蛋白膜微胶囊饲料投喂悉尼岩牡蛎幼体，研究发现投喂悉尼岩牡蛎幼体的生长率为投喂活藻的 80%。Knauer 等[41]利用 ^{14}C 标记的微藻脂质和玉米油为芯材，以明胶阿拉伯胶为壁材的液态微胶囊饲料投喂长牡蛎，发现吸收效果可达到 57.1%。Kean-Howie[42]研究发现扇贝、长牡蛎和菲律宾蛤仔能够摄食、消化和吸收以海藻酸钠为壁材，以 10%鲱鱼油为芯材的液态微胶囊饲料。这些微胶囊饲料的典型特征是呈液态微球体，芯材成分单一，只能作为生物饵料的补充，并且运输、储存不便，不符合饲料工业规模化生产的要求。

2.6 固态微胶囊饲料

固态微胶囊饲料是以明胶、乙基纤维素或者玉米醇溶蛋白等为壁材，以包裹多种营养物质的预混料为芯材，经过一系列加工制成的，其芯材成分比较全面。与液态微胶囊饲料相比，固态微胶囊饲料的运输与储存比较方便。已有文献报道了双壳贝类可以摄食消化吸收这种固态微胶囊饲料。Langdon 等[43]用以脂质为壁材制成的固态微胶囊饲料在烧杯中连续投喂美洲牡蛎，研究发现投喂固态微胶囊饲料组个体的生长率为投喂微藻组个体的 73%。Badillo-Salas

等[44]以牡蛎肉粉、海带粉、大豆蛋白、鱼油和玉米油等为芯材，以明胶为壁材制成固态微胶囊饲料（粗蛋白质含量为 29.8%，粗脂肪含量为 11.0%，粗灰分含量为 38.0%），以脉冲的方式喂食长牡蛎，结果发现仅使用该饲料可以至少保障 2 mm 的幼虫生长 1 个月。杨创业等[45]和 Wang 等[46]研究发现投喂固态微胶囊饲料的马氏珠母贝成贝的壳高、壳宽、总重的增长率可以达到自然海区成贝的 40%~50%，并且固态微胶囊饲料影响了贝体的生化成分及矿化基因的表达[47]。由此可以看出，固态微胶囊饲料很具有发展前景，在以后的研究中应进一步筛选更易于贝体消化的壁材，改善芯材配方使其营养更加全面。

3 小 结

综上所述，在双壳贝类养殖过程中利用人工饵料替代部分活体微藻是可行的，但双壳贝类的营养学及其人工饵料研究相对于鱼类和虾蟹类还很滞后，开发符合双壳贝类摄食习性和营养需求的可批量生产、来源稳定的人工饵料还需要工作者的进一步研究。

参考文献：

[1] 董波,薛钦昭,李军.滤食性贝类摄食生理的研究进展[J].海洋科学,2000,24(7):31–34.

[2] 王爱民,石耀华,王嫣,等.马氏珠母贝生物学与养殖新技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010:35.

[3] NRC.Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes[S].Washington,D.C.:National Academy Press,1983.

[4] LANGTON R W,WINTER J E,ROELS O A.The effect of ration size on the growth and growth efficiency of the bivalve mollusc *Tapes japonica*[J].Aquaculture,1977,12(4):283–292.

[5] WILSON R P,GATLIN Ⅲ D M.Biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition[G].PRUDER G D,LANGDON C,CONKLIN D.Proceedings of the second international conference on aquaculture nutrition. Baton Rouge,LA:Louisiana State University,Division of Continuing Education,1983.

[6] GARCÍA-ESQUIVEL Z,BRICELJ V M,GONZÁLEZ-GÓMEZ M A.Physiological basis for energy demands and early postlarval mortality in the pacific oyster,*Crassostrea gigas*[J].Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,2001,263(1):77–103.

[7] 成永旭.生物饵料培养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2005:278.

[8] FLAAK A R,EPIFANIO C E.Dietary protein levels and growth of the oyster *Crassostrea virginica*[J].Marine Biology,1978,45(2):157–163.

[9] BURLE E,KIRBY-SMITH W W.Growth of the bay scallop,*Argopecten irradians*,fed an artificial diet rich in protein[J].Estuaries,1979,2(3):206–208.

[10] CAMACHO A P,ALBENTOSA M,FERNÁNDEZ-REIRIZ M J,et al.Effect of microalgal and inert (cornmeal and cornstarch) diets on growth performance and biochemical composition of *Ruditapes decussatus* seed[J].Aquaculture,1998,160(1/2):89–102.

[11] LANGDON C J,WALDOCK M J.The effect of algal and artificial diets on the growth and fatty acid composition of *Crassostrea gigas* spat[J].Journal of the Marine Biological Association of the UK,1981,61(2):431–448.

[12] THOMPSON P A,HARRISON P J.Effects of monospecific algal diets of varying biochemical composition on the growth and survival of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae[J].Marine Biology,1992,113(4):645–654.

[13] KNAUER J,SOUTHGATE P C.Growth and fatty acid composition of pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat fed a spray-dried freshwater microalga (*Spongiococcum excentricum*) and microencapsulated lipids[J].Aquaculture,1997,154(3/4):293–303.

[14] NUMAGUCHI K.Effect of an artificial diet on early spat growth of the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*[J].Fisheries Science,2002,68(3):694–696.

[15] SÉGUINEAU C,SOUDANT P,MOAL J,et al.Techniques for delivery of arachidonic acid to pacific oyster,*Crassostrea gigas*,spat[J].Lipids,2005,40(9):931–939.

[16] MILKE L M,BRICELJ V M,PARRISH C C.Biochemical characterization and nutritional value of three *Pavlova* spp.in unialgal and mixed diets with *Chaetoceros muelleri* for postlarval sea scallops,*Placopecten magellanicus*[J].Aquaculture,2008,276(1/2/3/4):130–142.

[17] BATISTA I R,KAMERMANS P,VERDEGEM M C J,et al.Growth and fatty acid composition of juvenile *Cerastoderma edule* (L.) fed live microalgae diets with different fatty acid profiles[J].Aquaculture Nutrition,2014,20(2):132–142.

[18] RIVERO-RODRÍGUEZ S,BEAUMONT A R,LORA-VILCHIS M C.The effect of microalgal

diets on growth,biochemical composition,and fatty acid profile of *Crassostrea corteziensis* (Hertlein) juveniles[J].Aquaculture,2007,263(1/2/3/4):199–210.

[19] HURTADO M A,REZA M R,IBARRA A M,et al.Arachidonic acid (20:4n-6) effect on reproduction,immunology,and prostaglandin E2 levels in *Crassostrea corteziensis* (Hertlein,1951)[J].Aquaculture,2009,294(3/4):300–305.

[20] DELAPORTE M,CHU F L,LANGDON C.Changes in biochemical and hemocyte parameters of the pacific oysters *Crassostrea gigas* fed T-*iso* supplemented with lipid emulsions rich in eicosapentaenoic acid[J].Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,2007,343(2):261–275.

[21] ENRIGHT C T,NEWKIRK G F,CRAIGIE J S,et al.Growth of juvenile *Ostrea edulis* L. fed *Chaetoceros gracilis* Schütt of varied chemical composition[J].Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,1986,96(1):15–26.

[22] URBAN E R,Jr,LANGDON C J.Reduction in costs of diets for the American oyster,*Crassostrea virginica* (Gmelin),by the use of non-algal supplements[J].Aquaculture,1984,38(4):277–291.

[23] COUTTEAU P,DRAVERS M,DRAVERS P,et al.Manipulated yeast diets and dried algae as a partial substitute for live algae in the juvenile rearing of the Manila clam *Tapes philippinarum* and the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[M]//BARNABÉ G.Production,Environment and quality:proceedings of the international conference bordeaux aquaculture.Bordeaux:EAS Special Publication,1993,92:523–531.

[24] ALBENTOSA M,PÉREZ-CAMACHO A,LABARTA U,et al.Evaluation of freeze-dried microalgal diets for the seed culture of *Ruditapes decussatus* using physiological and biochemical parameters[J].Aquaculture,1997,154(3/4):305–321.

[25] ARNEY B,LIU W S,FORSTER I P,et al.Feasibility of dietary substitution of live microalgae with spray-dried *Schizochytrium* sp. or *Spirulina* in the hatchery culture of juveniles of the Pacific geoduck clam (*Panopea generosa*)[J].Aquaculture,2015,444:117–133.

[26] GARCÍA-ESQUIVEL Z,VALENZUELA-ESPINOZA E,BUITIMEA M I,et al.Effect of lipid

emulsion and kelp meal supplementation on the maturation and productive performance of the geoduck clam,*Panopea globosa*[J].Aquaculture,2013,396/397/398/399:25–31.

[27] 王如才,于瑞海.海藻榨取液在海湾扇贝亲贝蓄养中的应用[J].海洋科学,1989(6):55–56.

[28] 于瑞海,王如才,张建中.用海藻磨碎液进行海湾扇贝促熟的研究[J].海洋湖沼通报,1991(1):54–58.

[29] 殷旭旺,宋佳,李文香,等.不同海藻磨碎液对两种扇贝生长发育的影响[J].渔业现代化,2015,42(3):1–7.

[30] TANYAROS S,CHUSEINGJAW S.A partial substitution of microalgae with single cell detritus produced from seaweed (*Porphyra haitanensis*) for the nursery culture of tropical oyster (*Crassostrea belcheri*)[J].Aquaculture Research,2016,47(7):2080–2088.

[31] 王莹,戴继勋,王远隆.海螺酶酶解紫菜投喂扇贝亲贝的研究[J].齐鲁渔业,1998,15(4):42–43.

[32] DAI J X,WANG H,HAN B Q,et al.Application of live monocells from macroalgae to shellfish seed production[J].Marine Biotechnology,2000,2(1):1–4.

[33] PÉREZ C A,SALINAS J M,FUERTES C,et al.Utilización de biotransformados de *Laminaria saccharina* (L.) lamouroux en la alimentación de la semilla de la almeja *Ruditapes decussatus* (L.,1758)[J].Boletín Instituto Español de Oceanografía,2011,18(1/2/3/4):321–328.

[34] 李雷斌,刘志刚,王辉.自溶面包酵母在马氏珠母贝育苗中的饵料效果[J].中国水产科学,2008,15(6):1034–1041.

[35] ALBENTOSA M,FERNÁNDEZ-REIRIZ M J,PÉREZ-CAMACHO A,et al.Growth performance and biochemical composition of *Ruditapes decussatus* (L.) spat fed on microalgal and wheatgerm flour diets[J].Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,1999,232(1):23–37.

[36] 罗振鸿,曹家录.渔宝Ⅰ号对大珠母贝人工苗在室内培育的初步试验[J].黄渤海海洋,1998,16(1):45–49.

[37] 童圣英,王子臣,于淑敏,等.微细配合饲料代替单胞藻作为海湾扇贝亲贝及面盘幼虫食料的研究[J].大连水产学院学报,1998,13(1):1–7.

[38] CHU F L E,WEBB K L,HEPWORTH D A,et al.Metamorphosis of larvae of *Crassostrea virginica* fed microencapsulated diets[J].Aquaculture,1987,64(3):185–197.

[39] NUMAGUCHI K,NELL J A.Effects of gelatin-acacia microcapsules and algal meal supplementation of algal diets on growth rates of Sydney rock oyster,*Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley),larvae[J].Aquaculture,1991,94(1):65–78.

[40] SOUTHGATE P C,LEE P S,NELL J A.Preliminary assessment of a microencapsulated diet for larval culture of the Sydney rock oyster,*Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley)[J].Aquaculture,1992,105(3/4):345–352.

[41] KNAUER J,SOUTHGATE P C.Assimilation of gelatin-acacia microencapsulated lipid by Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat[J].Aquaculture,1997,153(3):291–300.

[42] KEAN-HOWIE J C.The application of sodium alginate microparticulate diets for nutrition research on juvenile and larval bivalve molluscs[D].Ph.D.Thesis.Halifax,Nova Scotia:Dalhousie University,1994:92–130.

[43] LANGDON C J,SIEGFRIED C A.Progress in the development of artificial diets for bivalve filter feeders[J].Aquaculture,1984,39(1/2/3/4):135–153.

[44] BADILLO-SALAS C E,VALENZUELA-ESPINOZA E,GONZÁLEZ-GÓMEZ M A,et al.Comparative growth of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) postlarvae with microfeed and microalgal diets[J].Aquaculture International,2009,17(2):173–186.

[45] 杨创业,罗少杰,王庆恒,等.马氏珠母贝微胶囊饲料的适用性研究[J].中国水产科学,2015,22(3):442–449.

[46] WANG Q H,YANG C Y,DU X D,et al.Growth performance and biochemical composition of juvenile pearl oyster *Pinctada martensii* fed on artificial diets[J].Aquaculture International,2016,24(4):995–1005.

[47] 杨创业,王庆恒,孙瑞椒,等.微胶囊饲料对马氏珠母贝生长性状和矿化基因表达的影响[J].基因组学与应用生物学,2015,34(8):1681–1687.

Advances in Nutritional Requirements and Artificial Feed of Bivalve Mollusks

YANG Chuangye[1,2] DU Xiaodong[1,2] WANG Qingheng[1,2*] DENG Yuewen[1,2]

(1. *Fisheries College*, *Guangdong Ocean University*, *Zhanjiang* 524088, *China*; 2. *Pearl Breeding and Processing Engineering Technology Research Center of Guangdong Province*, *Zhanjiang* 524088, *China*)

Abstract: Factory farming is an inevitable trend of sustainable development of the shellfish in the future. The cultivation of microalgae is easily affected by environmental factors such as temperature and light and takes up a lot of water volume. Therefore, the development of artificial feed that can substitute for microalgae is a critical factor in factory farming. In this paper, we briefly described the effects of nutrient composition such as protein, lipid and carbohydrate on growth, reproduction and immune of bivalve mollusks. And the progress of six artificial feeds of marine bivalve mollusks containing microalgae powder, macroalgae treatment, yeast, particle feed, liquid microcephaly feed and solid microcephaly feeds were reviewed in detail. This study could be helpful for further studies on artificial feed and factory farming mode in bivalve mollusks.

Key words: bivalve mollusks; nutritional requirements; artificial feed

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: wangqingheng@163.com (责任编辑 訾景颖)